



Двадцать четвертая международная конференция «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»

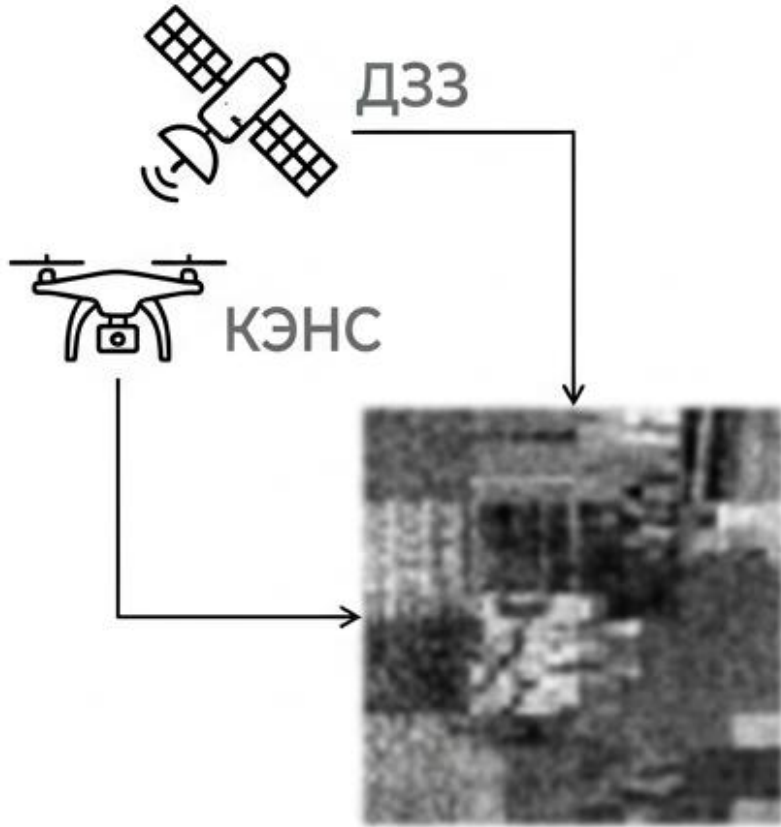
Методика поиска объекта на изображении,
полученном средствами дистанционного
зондирования Земли, по фазочастотостной
сигнатуре реперной строки

квн, Д.В. Конорев, ктн В.В. Октябрьский, ктн Е.И. Шабаков



Поиск реперных объектов требует одновременного выполнения трех жестких условий

В задачах ДЗЗ и корреляционно-экстремальной навигации критически необходимы:



1. Достоверность: Работа при низком качестве данных и сильном зашумлении.



2. Скорость: Малое время сравнения при гигантском числе эталонов.



3. Аналитический порог: Назначение порога принятия решения по заданной вероятности ложной тревоги ($P_{лт}$), исключая эмпирический подбор.



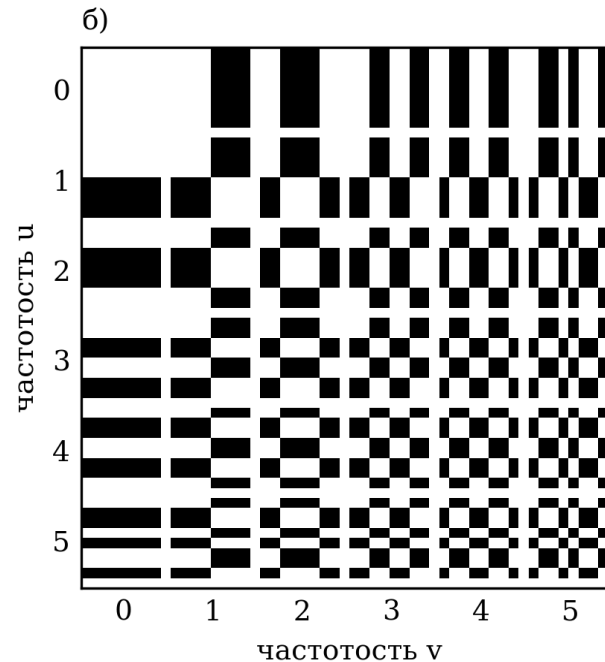
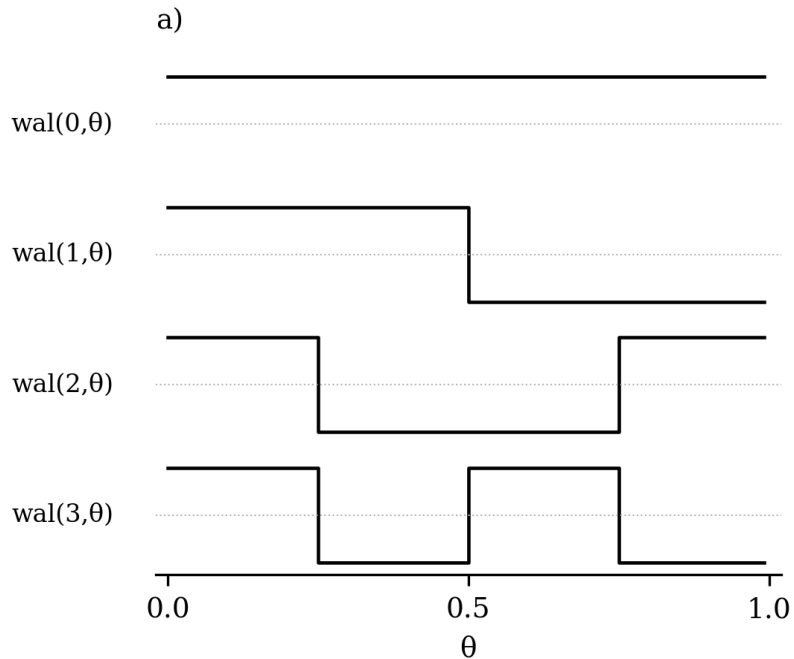
Известным методам не хватает либо скорости, либо возможности расчета порога без подбора

Метод	Аналитический порог	Устойчивость к шуму	Вычислительная скорость
Корреляционные методы	Нет (подбор под данные) ✗	Средняя	Низкая ✗
Ключевые точки (SIFT, SURF)	Да ✓	Низкая ✗ (слабеют на однородных текстурах)	Низкая ✗
Знаковые меры сходства	Да ✓ (Kaneko 2002)	Высокая ✓ (не зависит от помех - Wolff 1962)	Высокая ✓

Вывод: Знаковые меры — оптимальный фундамент, но требуют адаптации под спектральный анализ.



Известным методам не хватает либо скорости, либо возможности расчета порога без подбора



В отличие от базиса Фурье, базис Уолша является вещественным.

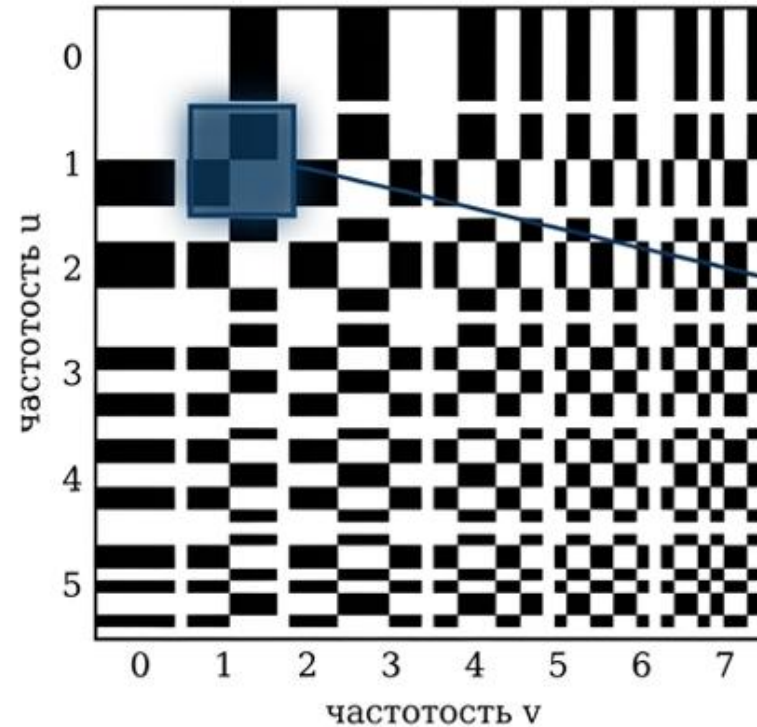
Фаза каждой спектральной компоненты принимает строго два значения: 0 или π .

Следовательно, фаза однозначно определяется знаком спектрального коэффициента.

$$S(u, v) = \operatorname{sgn} F(u, v) = \begin{cases} +1, & F(u, v) \geq 0; \\ -1, & F(u, v) < 0. \end{cases}$$



Изображение трансформируется в фазочастотную сигнатуру, инвариантную к контрасту



Один разряд = один
спектральный отсчет

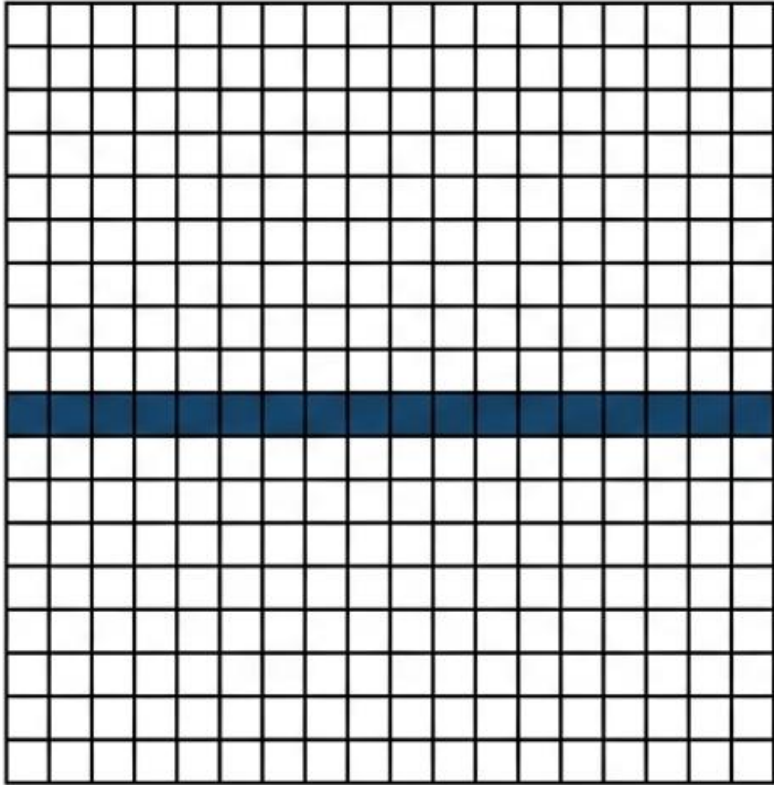
Двоичная матрица знаков образует
фазочастотную сигнатуру
изображения.

Уникальное свойство:

Абсолютная инвариантность к линейному изменению яркости и контраста ($f' = af+b$).
На тестовой выборке ни один из 262 144 знаков не изменился при масштабировании яркости.



Изображение трансформируется в фазочастотную сигнатуру, инвариантную к контрасту



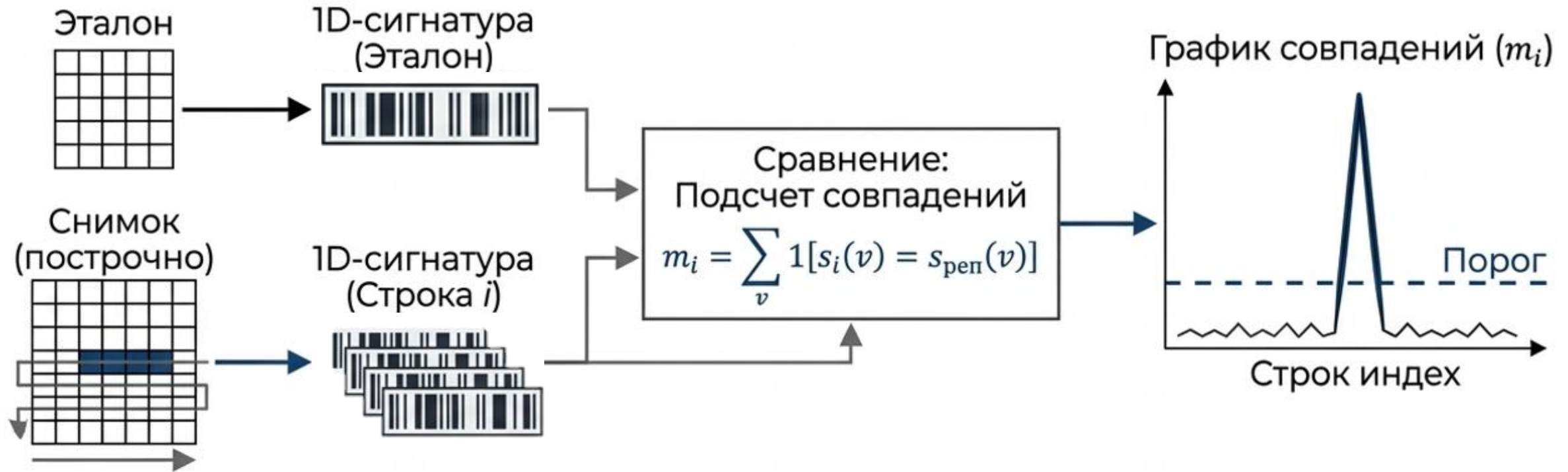
Для радикального ускорения поиска предложен отказ от двумерных сканирующих окон.

Метод оперирует реперной строкой - единственной строкой эталона, пересекающей объект поиска.

Вычисляется одномерный спектр Уолша и извлекается 1D-сигнатура (снимает проблему вычислительной сложности).



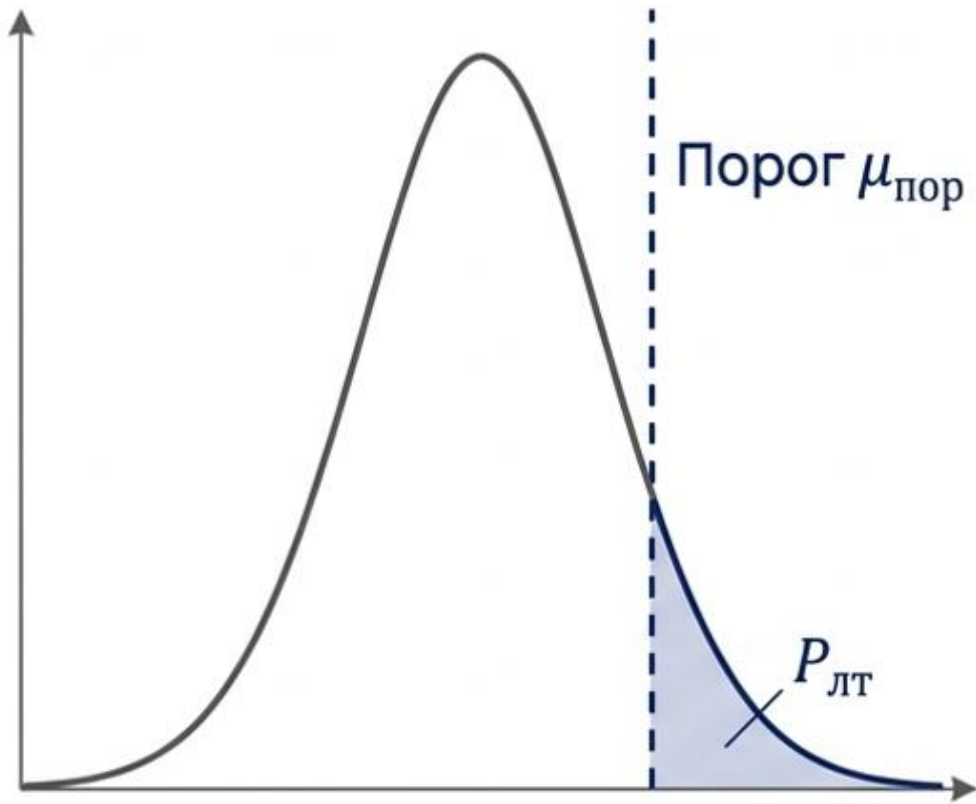
Строка снимка с объектом выявляется по выбросу совпадений над порогом



1. Анализируемый снимок просматривается построчно.
2. Для каждой строки вычисляется 1D-сигнатура.
3. Выполняется подсчет совпавших знаков со знаками реперной строки.
4. Точное положение объекта вдоль найденной строки определяется перебором (циклический сдвиг на 1 элемент).



Решающее правило и порог вычисляются аналитически, а не подбираются



Мера сходства μ — доля совпавших знаков. При $N \geq 64$ подчиняется нормальному приближению биномиального закона.

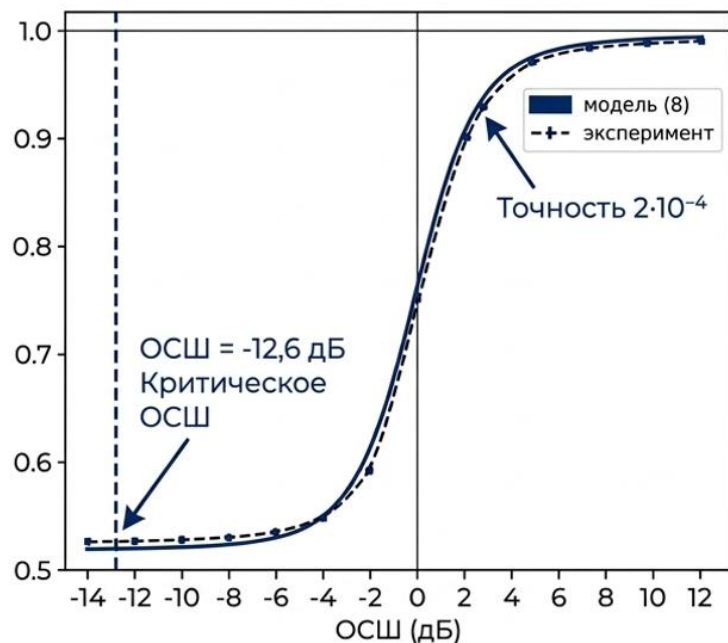
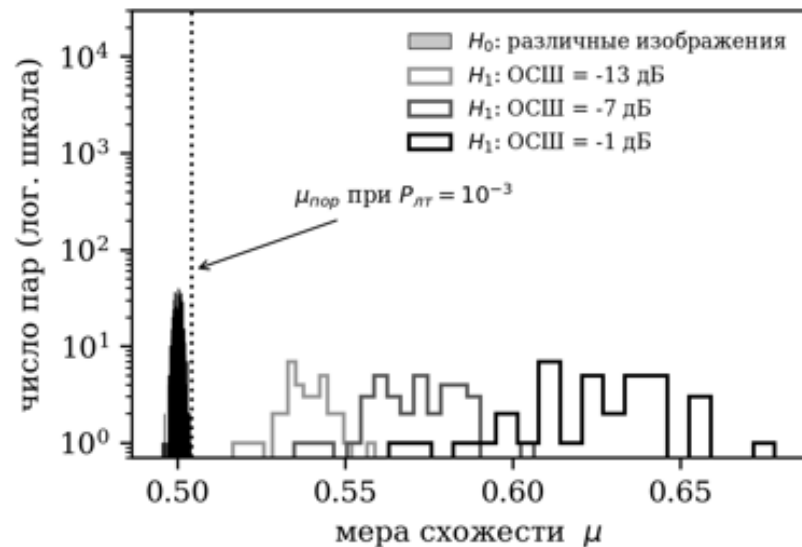
$$\text{Формула порога: } \mu_{\text{пор}} = \frac{1}{2} + \frac{\kappa}{2N} Q^{-1}(P_{\text{лт}})$$

Коэффициент κ учитывает стат. зависимость реальных изображений. При $\kappa = 1,34$, $N = 512$, $P_{\text{лт}} = 10^{-3} \rightarrow$ расчетный порог 0,504.

Проверка: Максимум меры на 630 парах независимых изображений составил 0,5039 (гарантированно ниже порога).



Аналитическая модель совпадает с экспериментом с точностью до $2 \cdot 10^{-4}$



$$\mu(\sigma) = 1 - \frac{1}{N^2} \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} Q\left(\frac{|F(u, v)|}{\sigma}\right)$$

Получено аналитическое выражение (8), жестко связывающее меру сходства с уровнем шума и амплитудным спектром снимка. Расхождение расчёта и эксперимента на аэрофотоснимках (кадр 512) минимально во всем диапазоне.

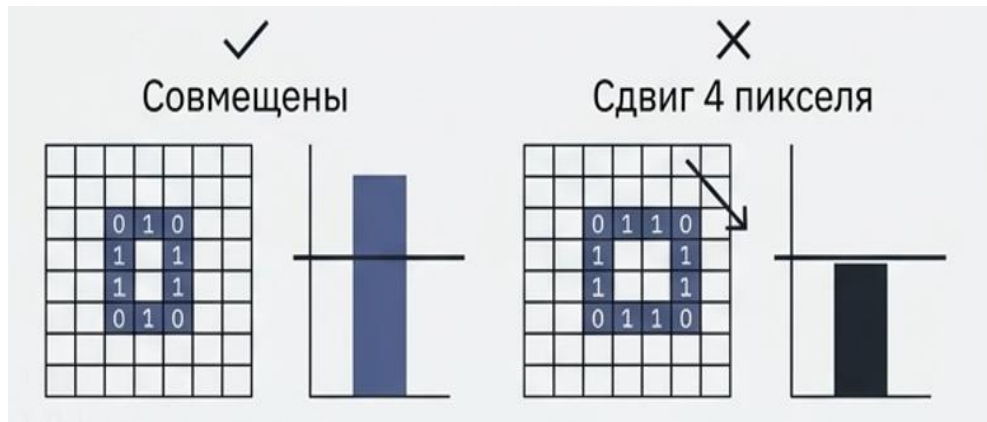
Экстремальная устойчивость:

Решение сохраняет достоверность при ОСШ -12,6 дБ. Метод работает, когда мощность шума в 18 раз превышает мощность сигнала.



Главное ограничение модели - чувствительность к пространственному сдвигу

Ограничение

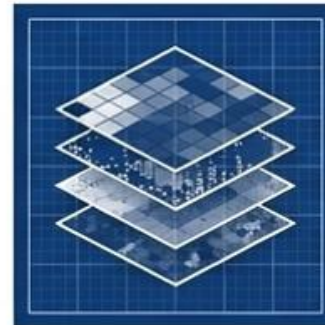


Преобразование Уолша не инвариантно к сдвигу. При сдвиге всего на 4 пикселя мера падает ниже порога ($0,494 < 0,504$). Сравниваемые фрагменты и строки требуют обязательного предварительного совмещения.

Перспективы развития



1. Весовая мера сходства:
Учет роста вероятности ошибки знака с ростом частотности.



2. Мультиспектральность:
Адаптация одномерного подхода для многоканальных данных ДЗЗ.



«Знаковая мера на секвентном спектре даёт строгий аналитический порог без эмпирического подбора и обеспечивает сверхбыстрое побитовое сравнение. На её основе разработана и обоснована методика построчного поиска объекта в условиях сильного шума по одномерной сигнатуре реперной строки.»



Спасибо за внимание